

Vladimír NEHYBKA¹

MĚŘENÍ SÍTĚ KRASNET 1991 – 2008 – ZÁVĚREČNÉ SHRNUTÍ

KRASNET NETWORK MEASUREMENTS 1991 – 2008 – SUMMARY

Abstrakt

Príspevok popisuje mčrení síť Krasnet v letech 1991 – 2008 v oblasti západní Čechy - Vogtland-Oberpfalz. Příspěvek shrnuje všechny aktivity spojené s měřením a interpretací Krasnetu s obsáhlým seznamem publikovaných prací.

Abstract

This contribution describes the measurements of the Krasnet network in years 1991 – 2008 in area West Bohemia-Vogtland-Oberpfalz. The content is the summary of all activities with Krasnet measurements and result with the numerous citations to earlier publications.

Úvod

Měření síť Krasnet probíhalo od dubna 1991 do září 2008. Popudem k instalaci síť byl požadavek Ústředního ústavu geologického v Praze na měření seismické aktivity v oblasti západní Čechy - Vogtland - Oberpfalz. Projekt ÚUG Praha „Geologický model západních Čech ve vztahu k vrtu KTB v Německu“, jehož bylo měření síť v letech 1991 – 1994 součástí, byl napojen na aktivity geofyziků a geologů v SRN v souvislosti s hloubením hlubokého vrtu KTB – 1. Projekt skončil v roce 1994 a výsledky měření síť Krasnet v rámci tohoto projektu byly opublikovány v závěrečné zprávě Nehybka,Skácelová,1993 a dále v Nehybka,Skácelová,1995,1997 a Vrána et al.,1997. V dalších letech probíhalo měření v režii Ústavu fyziky Země. V letech 1999-2001 a 2002-2004 se měřilo společně s GFÚ AV ČR Praha v rámci grantových úkolů GA ČR č. 205/99/0907 „Recentní geodynamika západních Čech ve vztahu ke stavbě zemské kůry (unikátní přírodní laboratoř) (Horálek et al.,2000,Geissler et al.,2000) a č. 205/02/0381 „Komplexní geofyzikální výzkum seismogenní západní části ČM“ (Horálek et al.,2003, Chlupáčová et al., 2003 a Geissler et al.,2005). K 30.9.2008 bylo měření síť Krasnet ukončeno pro nedostatek finančních prostředků.

V průběhu osmnácti let bylo zaregistrováno více než 15000 lokálních zemětřesení, z toho bylo lokalizováno 7021 silnějších s magnitudem v rozmezí hodnot -0,8 až +3,2. Seismická aktivita se vyskytovala ve čtyřech oblastech na českém území a pěti oblastech na německém území. Časové rozdělení aktivity je nerovnoměrné, projevuje se rojový charakter oblastí. Jednalo se o dva silné a řadu menších rojů.

¹ RNDr. Vladimír Nehybka, Brno, Bakalovo nábřeží 5, e-mail: nehybka@ipe.muni.cz

Tento článek má charakter informativního shrnutí za celých osmnáct let měření a zpracování sítě Krasnet. Jednotlivá témata nejsou detailně rozváděna, spíše je kladen důraz na citaci všech prací, které byly v souvislosti s Krasnetem opublikovány.

Měřicí síť Krasnet

Oblast západní Čechy je známa seismickou aktivitou již z historických dob. Shrnutí seismické aktivity oblasti lze najít např. v Procházková et al., 1987, Bormann, 1989, Grünthal et al., 1990. Síť byla umístěna na základě polohy epicentra posledního zemětřeseného roje z let 1985/86. Na lokalitě v roce 1991 měřily čtyři analogové stanice v Sasku (BDE,BBD,SBG,WRG) a jedna analogová (SKC) a jedna digitální (NKC) stanice GFÚ ČSAV z Prahy. Stanice sítě Krasnet byly rozmístěny tak, aby obklopovaly epicentrum zemětřesení z roku 1985/86 s tím, že pátá stanice byla umístěna poblíž epicentra. Síť se skládala z pěti stanic vybavených digitálním seismologickým systémem pro sběr dat Lennartz 5800 pracujícím v triggrovaném režimu s koincidencí seismických dat na subcentru. Každá z pěti stanic byla vybavena tříslůžkovým snímačem WDS ($f_0=2\text{Hz}$), umístěným v šestimetrovém zapaženém vrtu. Signál byl zesílen a digitalizován v encoderu LE 5800. Zároveň bylo provedeno zjištění, zda se jedná o signál seismické události nebo šum. Pro určení výskytu seismické události byl prováděn výpočet algoritmem STA/LTA. V případě seismické události byl digitální signál obohacen o jeden jednotkový bit, signalizující výskyt seismické události. Výsledný signál byl kontinuálně radiovou cestou přenášen na subcentrum Zelená Hora, kde bylo prováděno další zpracování seismického signálu. Mixer LE5800 v subcentru sbíral signál všech patnácti seismických kanálů a porovnával výskyt seismické události na jednotlivých stanovištích. Při výskytu seismické události na třech z pěti stanic byla spouštěna registrace seismického signálu. Zpoždovací digitální paměť přitom zajišťovala nahrání kompletního vlnového obrazu. V letech 1991 – 2000 byl zápis prováděn na digitální magnetofon Nagra, od roku 2000 na harddisk počítače. Od roku 2002 byl zprovozněn přenos seismických dat do Brna přes Internet.

Metodika zpracování

Seismická data byla převedena do formátu css3.0 zobrazitelného a zpracovatelného na počítačích ÚFZ. K zobrazení a zpracování dat byl používán program Geotool (Coyne,1995) k lokalizaci program HYPO3D (Firbas,1988). Pro lokalizaci jsme používali vlastní rychlostní model, sestavený jednak na základě známých geologických a geofyzikálních údajů, jednak na základě profilových seismických měření provedených na lokalitě v letech 1990 – 1991 (Dvořák, Sýkorová,1993). Výsledkem je třírozměrný blokový model (Nehybka, Skácelová,1993, Vrána et al. 1997) používaný po celou dobu měření k lokalizaci lokálních zemětřesení. Pro výpočet lokální magnitudy jsme používali vzorec:

$$ML = \log(u*2800/0,6325)+0,1+1,4*\log(s)$$

kde u je maximální výchylka půdy v mm a s je hypocentrální vzdálenost v km (Scherbaum, Stoll, 1983).

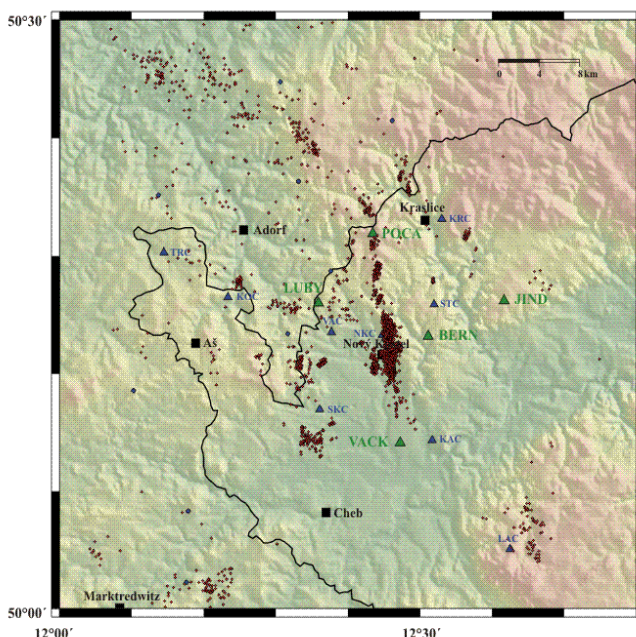
Výstupy

Výsledky měření byly ročně sestavovány ve formě seznamů a bulletinů zemětřesení. Seznamy obsahují základní informaci o lokalizovaném zemětřesení (čas

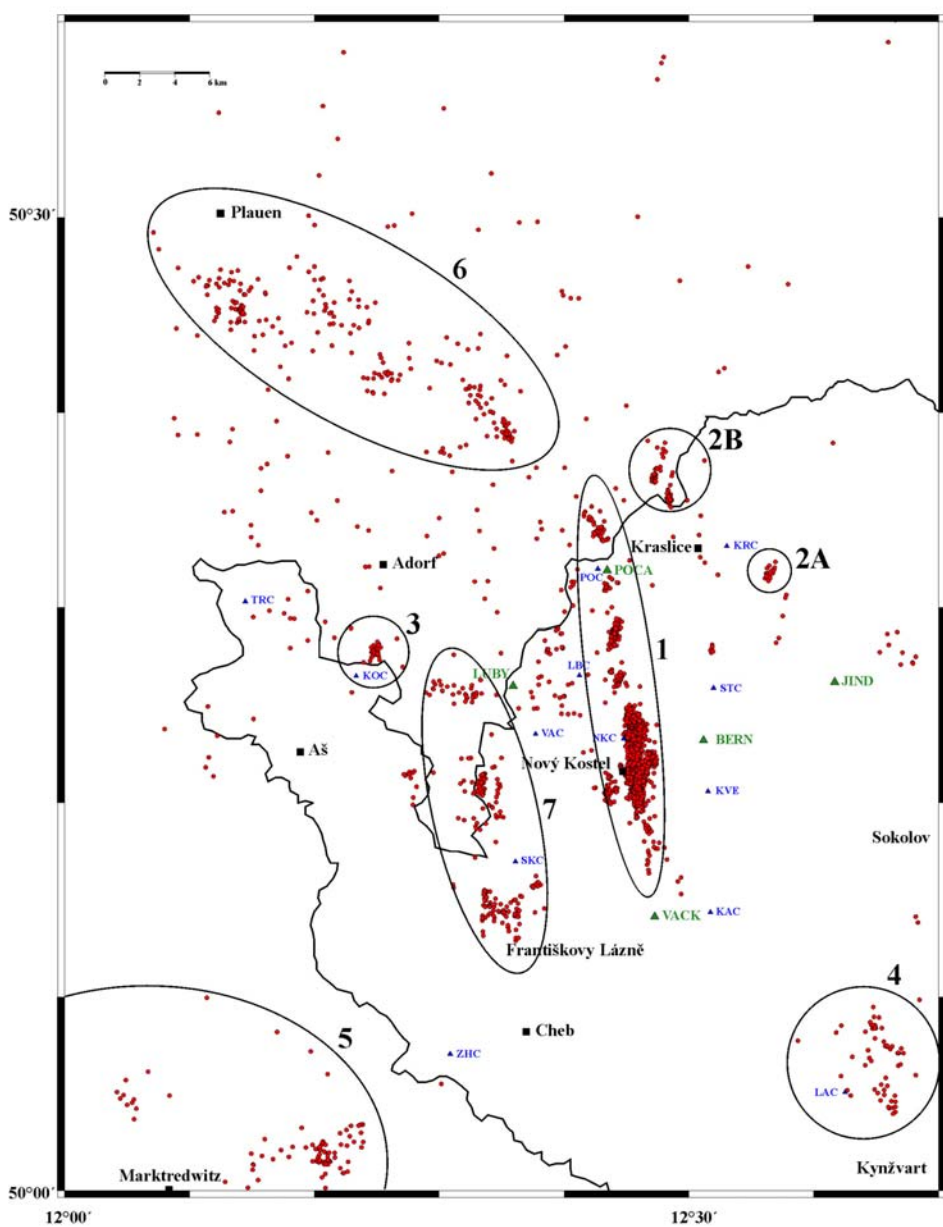
vzniku, souřadnice a hloubku a lokální magnitudo včetně nepřesnosti určení) nebo základní informaci o registraci, pokud zemětřesení bylo příliš slabé pro lokalizaci. Bulletinů obsahují kromě těchto základních informací navíc údaje o časech příchodu, amplitudě a velikosti reziduí na jednotlivých stanicích při lokalizačním výpočtu. Seznamy zemětřesení jsou zveřejněny na webových stránkách ÚFZ Brno (www.ipe.muni.cz; odkaz Síť & stanice; síť Krasnet); bulletinů a data druhé úrovně jsou archivovány na ÚFZ Brno. Protože konfigurace sítě byla po celou dobu měření neměnná stejně jako lokalizační program a vzorec pro magnitudo, tvoří osmnáct let měření síť Krasnet homogenní soubor dat s jednotnou metodikou měření i zpracování.

Seismická aktivita

Na obr. č. 1 je vyznačena seismická oblast západní Čechy v letech 1991 – 2008. Mapa na obrázku je v zeměpisných souřadnicích a poskytuje základní orientaci na lokalitě západní Čechy včetně reliéfu. Vyznačena jsou hlavní sídla (černé čtverečky), seismologické stanice (trojúhelníčky: zeleně ÚFZ Brno, modře GFÚ Praha) a červeně jsou vyznačena epicentra zemětřesení. Na přiloženém CD jsou obrázky v barevné variantě. Delší průběh měření potvrzuje fakt, že epicentra zemětřesení v západních Čechách mají tendenci shlukovat se v prostoru a čase. Je zřejmé, že hlavní aktivita je soustředěna v oblasti Nový Kostel - Počátky. V této oblasti se odehrávalo nejméně 90% seismické aktivity, jak co do počtu seismických jevů, tak co do množství uvolněné energie. Na obrázku č. 2 je znovu schéma oblasti, zde jsou navíc vyznačeny hlavní oblasti shlukování epicenter zemětřesení. Na území ČR se jedná o oblasti Nový Kostel-Počátky (1), Kraslice-Rotava (2A), Lazy (4) a oblast Františkovy Lázně-Skalná spolu s oblastí Markneukirchen (7). Na území Spolkové republiky Německo jsou to oblasti Adorf - Bad Elster (3), Klingenthal (2B), Marktredwitz (5), Plauen (6) a Markneukirchen (7).



Obr. 1 Seismická aktivita Západní Čechy 1991 - 2008, měření Krasnet, ÚFZ Brno



Obr. 2 Oblasti seismické aktivity – Západní Čechy, měření Krasnet, ÚFZ Brno

Seismické roje

Protože oblast je již z historických dob známa seismicitou rojového charakteru, byl výskyt zemětřesení v čase značně nerovnoměrný. Období klidu se střídala s obdobími zvýšené seismické aktivity. Během měření sítě Krasnet se v oblasti Nového Kostela vyskytly větší seismické roje v letech 1997 a 2000, menší potom v letech 1991, 1993, 1994, 2004 a 2007 (Neunhöfer, Meier, 2004, Neunhöfer, Hemmann, 2005 a Tilšarová, Nehybka, 2006).

Nejsilnější a nejpočetnější byl roj z roku 2000. Trval od srpna do prosince 2000, nejsilnější jev měl lokální magnitudo 3,2. Celkem bylo během roje 2000 sítě Krasnet zaregistrováno více než 5000 jevů, z toho lokalizovaných je 3229 v rozmezí magnitud -0,8 až 3,2. V průběhu roje bylo rozeznatelných osm postupných fází. Blíže se vyhodnocení tohoto roje věnujeme v Nehybka, 2001, 2002 a Nehybka et al., 2003. Podrobnou analýzu geometrie zdrojové oblasti lze nalézt v Fischer, Horálek, 2003.

Druhý nejsilnější roj proběhl v lednu 1997. Doba trvání byla dva týdny, nejsilnější zemětřesení mělo lokální magnitudo 2,6. Celkový počet jevů zaregistrovaných sítě, které byly lokalizovány, byl 483. Jednalo se o první významnější seismický roj po roce 1986. Výsledky našeho zpracování byly opublikovány v Nehybka, 1998, Nehybka, Skácelová, Havíř, 1998, Nehybka, Skácelová, 2000 a Fischer, Horálek, 2000.

Třetí nejvýznamnější roj, co do velikosti hlavního otřesu, proběhl v prosinci 1994, ve dnech 4.-5.12.1994. Z cca 200 zaregistrovaných jevů se podařilo lokalizovat 77. Největší lokální magnitudo bylo 2,2. Společně se silnějšími zemětřeseními z let 1991 – 1993 a po získání dat spolupracujících organizací (AV ČR Praha a Univerzita Jena) se podařilo spočítat na lokalitě první ohniskové mechanismy. Byly opublikovány v Skácelová, Nehybka, 1995 a v Nehybka et al., 1998.

Další významný roj proběhl ve dvou dnech 9. – 10.2. 2007. Jednalo se o několik set lokálních zemětřesení, z nichž 405 bylo lokalizováno. Nejsilnější jev měl lokální magnitudo 1,8. Podrobněji jsme o výsledcích referovali na 8. česko-polském semináři o recentní geodynamice v Kladsku v březnu 2007 a na 17. regionální konferenci v Ostravě v dubnu 2008.

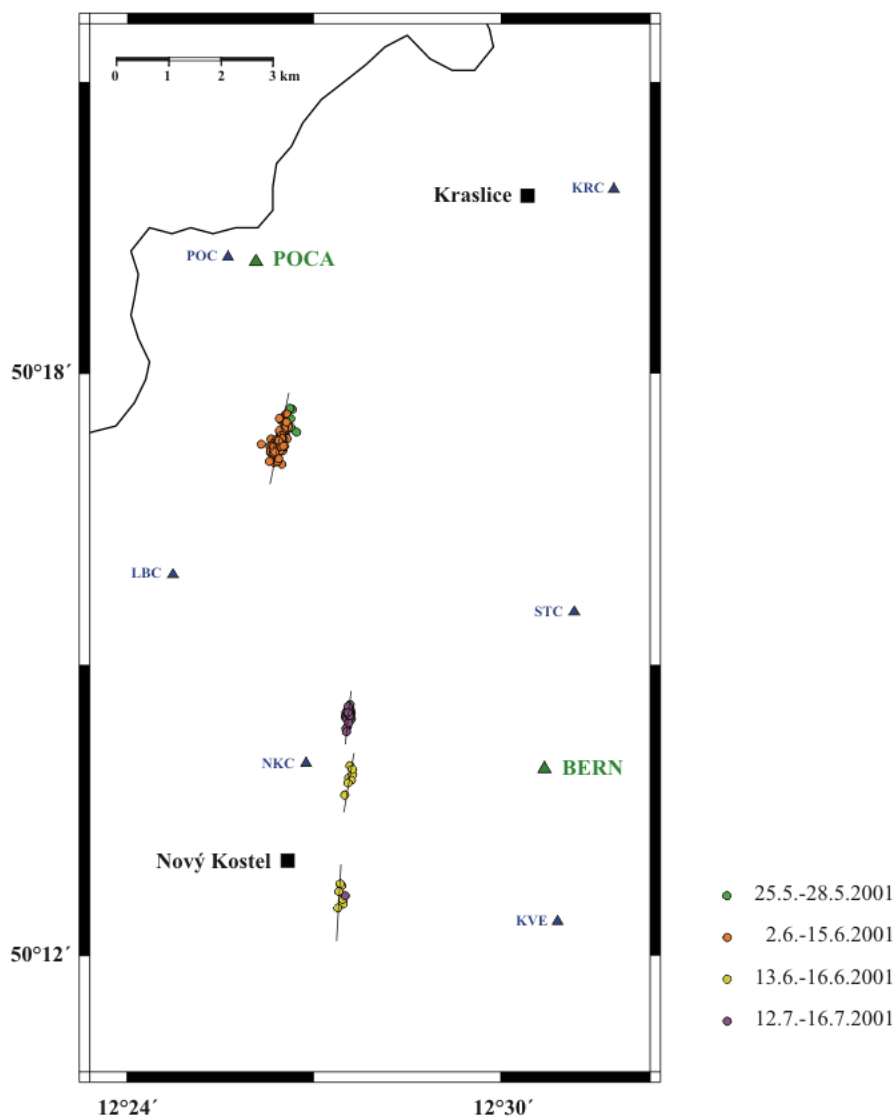
Mezi 22. a 23.2.2004 proběhl na Novém Kostele další významnější roj s celkovým počtem 35 lokalizovaných jevů a maximálním magnitudem 1,2. Vyhodnocení tohoto roje bylo opublikováno v Nehybka, Tilšarová, 2004 a 2007.

V letech 1991 a 1993 se bylo na Novém Kostele několik menších seismických rojů, jejichž označení „seismický roj“ je možná diskutabilní. Ve dnech 1. – 10.1991 to bylo 56 zemětřesení lokalizovaných do okolí Nového Kostela. Největší magnitudo za těchto osm dní bylo 1,2. Ve dnech 17. – 24.9.1993 se jednalo o 46 jevů lokalizovaných do blízkosti Nového Kostela s maximálním magnitudem 1,1. (Nehybka, Skácelová 1993, 1994, 1995, Skácelová 1995).

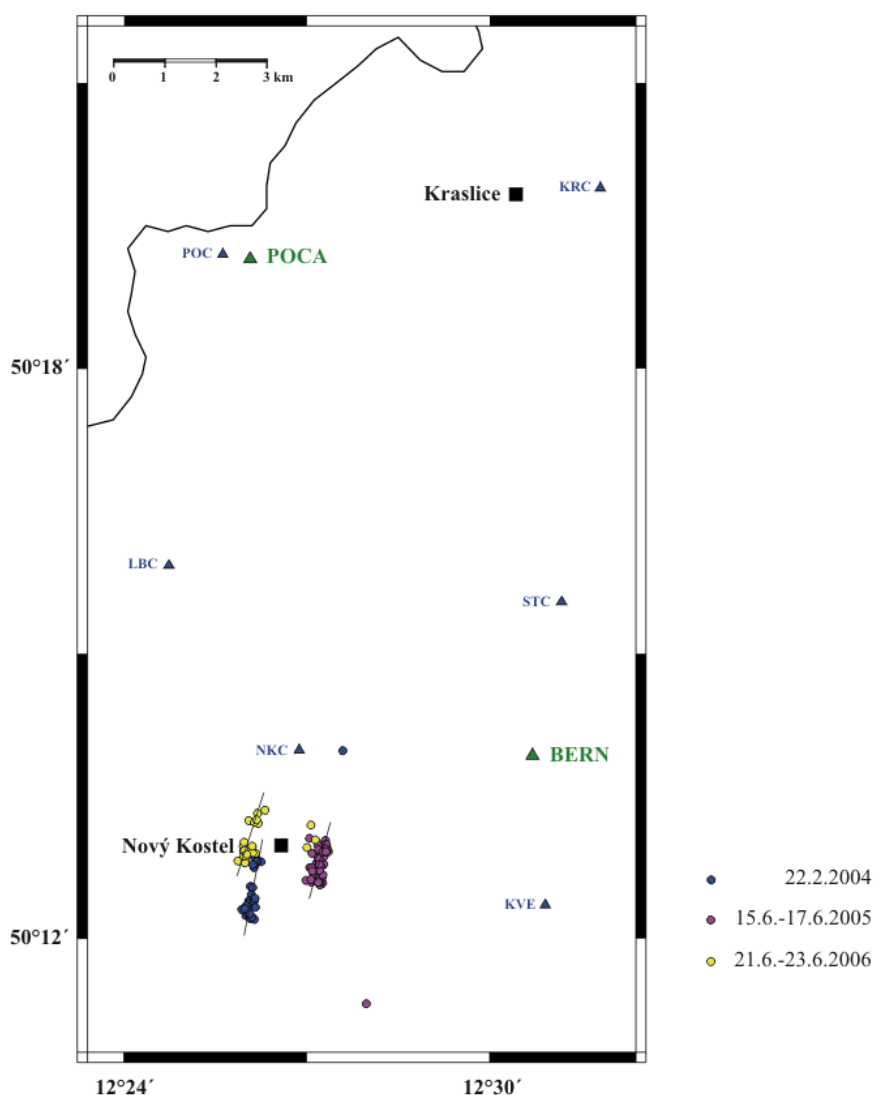
Řazení epicenter u slabších jevů

Většina epicenter v oblasti Nový Kostel – Počátky měla tendenci shlukovat se podél linie s azimutem cca 350° a sledovat tak směr paralelní k mariánsko-lázeňskému zlomu. Analýzou zemětřesení vyskytujících se v oblasti Nový Kostel-Počátky mimo roje vyjmenované v předchozí kapitole jsme zjistili, že část jevů má tendenci řadit se k linii kosé k tomuto směru s odchylkou 20° – 30° k východu, takže výsledný azimut je cca 20°. Příslušné analýzy byly zveřejněny v Nehybka, Skácelová 1993, 1994, 1995 pro

roky 1991 – 1993 a v Nehybka, Tilšarová, 2007 pro roky 2001 – 2006. Na následujících obrázcích č. 3 a 4 je příslušná situace v letech 2001 – 2006 vyznačena včetně příslušných předpokládaných směrů řazení.



Obr. 3 Řazení epicenter v roce 2001, měření Krasnet, ÚFZ Brno



Obr. 4 Řazení epicenter v letech 2004 – 2006, měření Krasnet, ÚFZ Brno

Poděkování

V průběhu osmnácti let registrace sítě Krasnet vystřídal řada pracovníků. Všem jim patří dík za jejich díl práce, kterým přispěli k bezproblémovému chodu a zpracování měření sítě v západních Čechách. Z řad technických pracovníků je to skupina ing. Brady z dřívější Geofyziky Brno, dále M.Krmíček, J.Otruba, J.Šrajt, V.Jeřábek, T.Kratochvíl a V.Mudra. V oblasti zpracování a interpretace seismologických dat to jsou P.Firbas, V.Dvořák, Z.Sýkorová, Z.Nakládalová, J.Haviř, Z.Skácelová, L.Bulíčková, I.Matušová, P.Špaček, K.Zachovalová a R. Tilšarová.

Závěr

Měření sítě Krasnet přispělo k poznání zemětřesných rojů v západních Čechách. V prvních letech 1991 – 1994 byla síť Krasnet hlavním seismologickým měřením v oblasti, od roku 1995 potom vhodně doplňovala aktivity sítě Webnet a aktivity seismologů z německých univerzit. Celkem byly za roky 1991 – 2008 sestaveny a úspěšně oponovány tři zprávy o měření a výsledcích sítě Krasnet, v časopisech a sbornících bylo opublikováno dvacet článků.

Literatura

- [1] BORMANN, P. (Ed.) Monitoring and Analysis of the Earthquake Swarm 1985/86 in the Region Vogtland/West Bohemia. *Veroeffentlichung des Zentralinstituts fuer Physik der Erde*. 1989, Nr.110. Als Manuskript gedruckt. Potsdam 1989.
- [2] COYNE, J.M. & HENSON, L. *Geotool Sourcebook*. Technical Report C95-1. Teledyne Brown. Huntsville, 1995.
- [3] DVOŘÁK, V. & SÝKOROVÁ, Z. Refrakční profily a širokoúhlé reflexně-seismické měření v západních Čechách. MS Geofyzika Brno, 1993.
- [4] CHLUPÁČOVÁ, M., SKÁCELOVÁ, Z. & NEHYBKA, V. P-wave Anisotropy of Rocks from the Seismic Area in Western Bohemia. *Journal of Geodynamics*. 2003, 35, pp. 45-57.
- [5] FIRBAS, P. & WERL, M. Program HYPO3D pro lokalizaci v třírozměrném prostředí. MS Geofyzika Brno, 1988.
- [6] FISCHER, T. & HORÁLEK, J. Refined Localisations of the Swarm Earthquakes in the Nový Kostel Focal Zone and Spatial Distribution of the January 1997 Swarm in Western Bohemia, Czech Republic. *Studia geoph. et geod.*, 2000, 44, pp. 210 – 226.
- [7] FISCHER, T. & HORÁLEK, J. Space-Time Distribution of Earthquake Swarms in the Principal Focal Zone of the NW Bohemia/Vogtland Seismoactive Region: Period 1985/2001. *Journal of Geodynamics*. 2003, 35, pp. 125 – 144
- [8] GEISSLER, W., PLENEFISCH, T., KIND, R., KLINGE, K., KÄMPF, H., BOUŠKOVÁ, A., NEHYBKA, V., SKÁCELOVÁ, Z. & JACOB, B. The MOHO Structure in the Western Eger Rift: A Receiver Function Experiment. *Studia geoph. et geod.* 2000, 44, pp. 188-194.
- [9] GEISSLER, W.H., KÄMPF, H., KIND, R., BRAEUER, K., KLINGE, K., PLENEFISCH, T., HORÁLEK, J., ZEDNÍK, J. & NEHYBKA, V. Seismic Structure and Location of a CO₂ Source in the Upper Mantle of the Western Eger (Ohře) Rift, Central Europe. *TECTONICS*. 2005, vol. 24, 23.
- [10] GRÜNTAL, G., SCHENK, V., ZEMAN, A. & SCHENKOVÁ, Z. Seismotectonic Model for the Earthquake Swarm of 1985 – 1986 in the Vogtland/West Bohemia Focal Area. *Tectonophysics*. 1990, 174, pp. 369 – 383.
- [11] HORÁLEK, J., FISCHER, T., BOUŠKOVÁ, A. & JEDLIČKA, P. The Western Bohemia-Vogtland Region in the Light of the WEBNET Network. *Studia geoph. et geod.* 2000, 44, 107.
- [12] HORÁLEK J., BROŽ M., NEHYBKA V., NOVOTNÝ, O., ULRYCH, J. & KORKOVÁ, J. Recent Geodynamics of West Bohemia in Relation on the Crustal Structure (Unique Natural Laboratory). *Acta Montana*, IRSM AV ČR, 2003, Series AB No.11 (128), pp. 55 - 74

- [13] NEHYBKA, V. & SKÁCELOVÁ, Z. Microseismic Array in the Epicentral Area of Kraslice. In: Vrána (editor). *Geological Model of Western Bohemia in Relation to the Deep Borehole KTB-1 in the FRG*. ČGÚ, Praha, 2003.
- [14] NEHYBKA, V. & SKÁCELOVÁ, Z. Microearthquakes in the Western Bohemia. In *Proceedings of XXIV General Assembly of the ESC*, Athens, 1994.
- [15] NEHYBKA, V. & SKÁCELOVÁ, Z. Seismotectonic Analysis of the Seismological Measurements in the Kraslice Network. *Bull. of Czech. Geolog. Survey*. Prague, 1995, 70, 2.
- [16] NEHYBKA, V. & SKÁCELOVÁ, Z. Lokální seismická v oblasti Kraslice. In *Výsledky nových studií v seismologii a inženýrské geofyzice*. Regionální konference s mezinárodní účastí, Ostrava 8.-9. dubna 1997, sborník referátů, 2. díl, editor: Zdeněk Kaláb, ÚGN AVČR.
- [17] NEHYBKA, V. & SKÁCELOVÁ, Z. Seismological Study of the Kraslice – Vogtland - Oberpfalz Region. In Vrána ed. *Geological Model of Western Bohemia in Relation to the Deep Borehole KTB-1 in Germany*. Český geologický ústav, Praha, 1997, pp. 186-190.
- [18] NEHYBKA, V. & SKÁCELOVÁ, Z. Seismická západních Čech v roce 1997. In *Současné směry v seismologii a inženýrské geofyzice*. Regionální konference s mezinárodní účastí, Ostrava 21.-22. dubna 1998, sborník referátů, 1. díl, editor Zdeněk Kaláb, ÚGN AVČR.
- [19] NEHYBKA, V., SKÁCELOVÁ, Z. & HAVÍŘ, J. Seismicity in the Area of the Western Bohemia. *Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment*, 1998, V. 2, pp. 7-15.
- [20] NEHYBKA, V. & SKÁCELOVÁ, Z. Results of Seismological Measurements by the Kraslice Network in the Period 1991-1998. *Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment*. 2000, VII. 1-2, pp. 18-28.
- [21] NEHYBKA, V. Seismická v západních Čechách. In *Seismologie a inženýrská geofyzika – minulost, přítomnost a budoucnost*. Regionální konference s mezinárodní účastí, Ostrava, 3.-4. dubna 2001, sborník referátů, editor: Zdeněk Kaláb. ÚGN AVČR.
- [22] NEHYBKA, V. Seismický roj Nový Kostel 2000. In *Laboratorní a terénní bádání v seismologii a inženýrské geofyzice*. Regionální konference s mezinárodní účastí, Ostrava, 16.-17. dubna 2002, sborník referátů, editor: Zdeněk Kaláb, ÚGN AVČR.
- [23] NEHYBKA, V., TILŠAROVÁ, R. & ŠPAČEK, P. The Nový Kostel Earthquake Swarm 2000 – Krasnet Measurements. *Acta Montana IRSM*. 2003, 22, pp. 21-30.
- [24] NEHYBKA, V. & TILŠAROVÁ, R. Seismické roje v oblasti západní Čechy-Vogtland 1991-2004. In *Sborník 13. regionální konference "Rozvoj seismologie, inženýrské geofyziky a geotechniky"*. Sborník věd. prací VŠB–TU Ostrava, řada stavební, 2004, vol. 4, no. 2, pp. 211-218.
- [25] NEHYBKA, V. & TILŠAROVÁ, R. Seismic Activity in West Bohemia from 2001-2006. *Acta Geodynam. Geomater*. 2007, Vol. 4, No. 4 (148), pp. 51-57.
- [26] NEUNHÖFER, H. & MEIER, T. Seismicity in the Vogtland/Western Bohemia Earthquake Region Between 1962 and 1998. *Stud. Geophys. Geod.* 2004, 48, pp. 539-562
- [27] NEUNHÖFER, H. & HEMMANN, A. Earthquakes Swarms in the Vogtland/Western Bohemia Region: Spatial Distribution and Magnitude-Frequency Distribution as an Indication of the Genesis of Swarms? *Jour. of Geodyn.* 2005, 39 (2005), pp. 361–385.

- [28] PROCHÁZKOVÁ, D. (Ed.) *Earthquake Swarm 1985/86 in Western Bohemia*. 1987.
- [29] Proceedings of Workshop in Mariánské Lázně, Dec. 1 – 5, 1986
- [30] SCHERBAUM, F. & STOLL, D. Source Parameters and Scaling Laws of the 1978 Swabian Jura (Southwest Germany) Aftershocks. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 1983, 73, pp. 1321-1343.
- [31] SKÁCELOVÁ, Z. & NEHYBKA, V. Seismic Activity of the Mariánské Lázně Deep Fault in Western Bohemia. In *Abstract 11th International Conference on "Basement Tectonics '94"*. July 25-29, 1994, Potsdam.
- [32] SKÁCELOVÁ, Z. & NEHYBKA, V. Earthquake Swarm Nový Kostel 4.-5.12.1994. *Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment*. 1995, II. 1. (1995). ČAAG.
- [33] TILŠAROVÁ, R. & NEHYBKA, V. Západní Čechy 1991-2005 – přehled seismické aktivity podle oblastí. In *Sborník 15.regionální konference "Nové poznatky a měření v seizmologii, inženýrské geofyzice a geotechnice"*. Sborník vědeckých prací VŠB–TU Ostrava , řada stavební, 2006, vol. 6, no. 2, 301-307.
- [34] VRÁNA, S. (Ed.) *Geological Model of Western Bohemia in Relation to the Deep Borehole KTB-1 in the FRG*. Czech Geological Survey, Prague 1997

Oponentní posudek vypracoval:

RNDr. Karel Holub, DrSc., Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava